

鉄鋼のカーボンニュートラルへの取り組み

2022年4月

一般社団法人 日本鉄鋼連盟
エネルギー技術委員会 委員長

手塚 宏之

我が国鉄鋼業の概要

- 鉄鋼業は、建設業、製造業（輸送用機械、機械器具、金属製品製造業）等の他産業の基盤となる産業。

鉄鋼業

売上高:14兆円、経常利益:831億円、従業員数:23万人

川上
川中

高炉、電炉
圧延、加工、鋳鍛造等

川下

建設業

建設業

売上高:134兆円、経常利益:7兆円、従業員数:356万人



製造業

輸送用機械器具製造業

売上高:71兆円、経常利益:4兆円、従業員数:125万人



機械器具製造業

売上高:96兆円、経常利益:7兆円、従業員数:235万人



金属製品製造業

売上高:17兆円、経常利益:7,434億円、従業員数:63万人



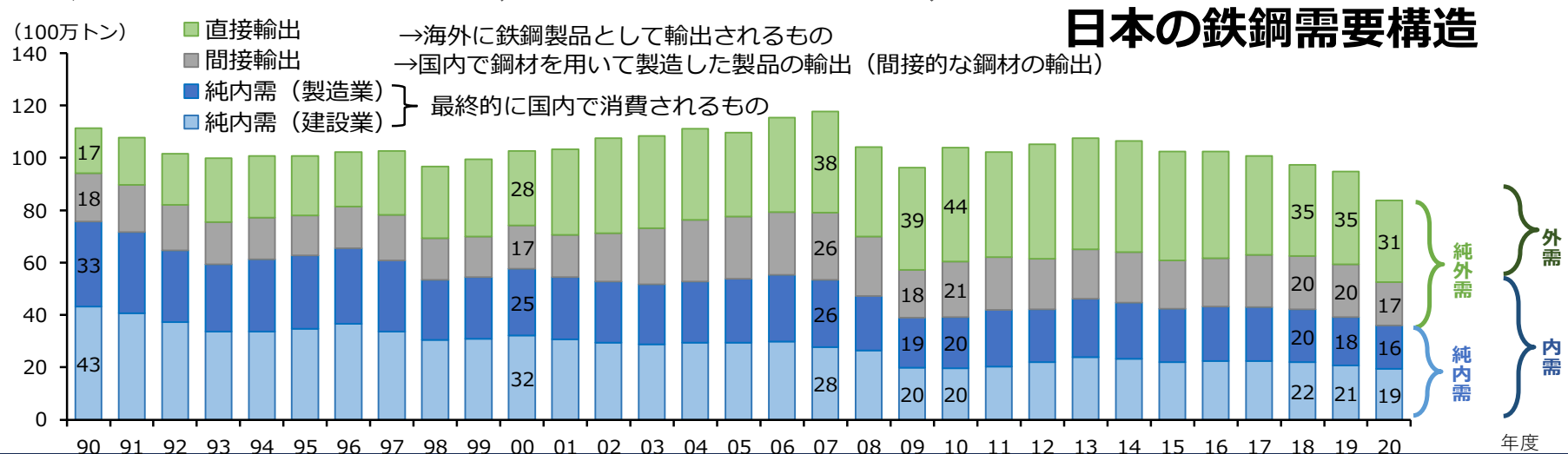
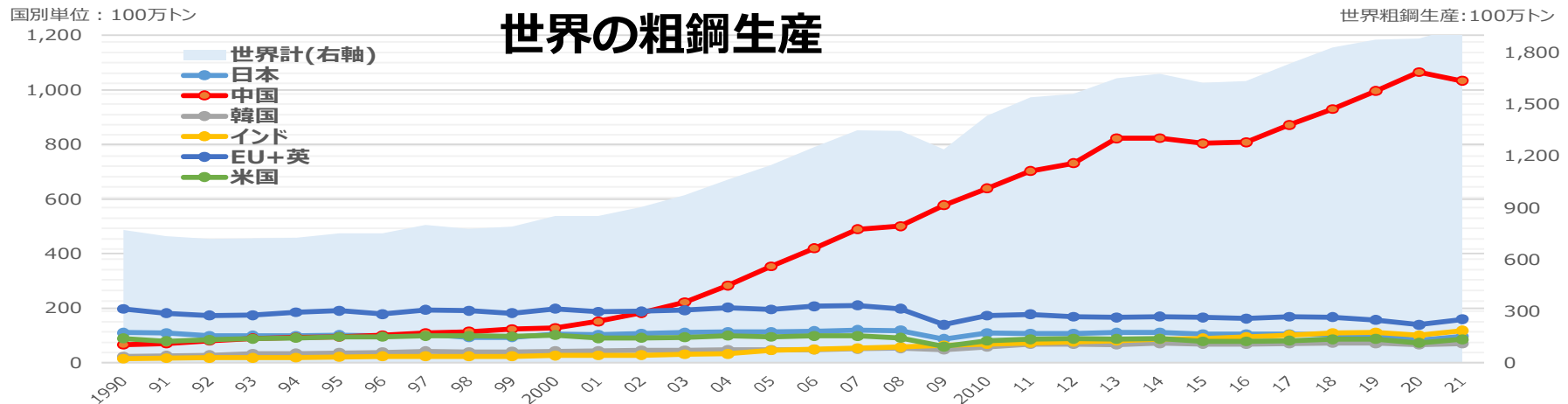
出所:財務省「令和2年度法人企業統計調査」

注1:データは2020年度。

注2:機械器具は、はん用機械、生産用機械、業務用機械、電気機械、情報通信機械の合計。

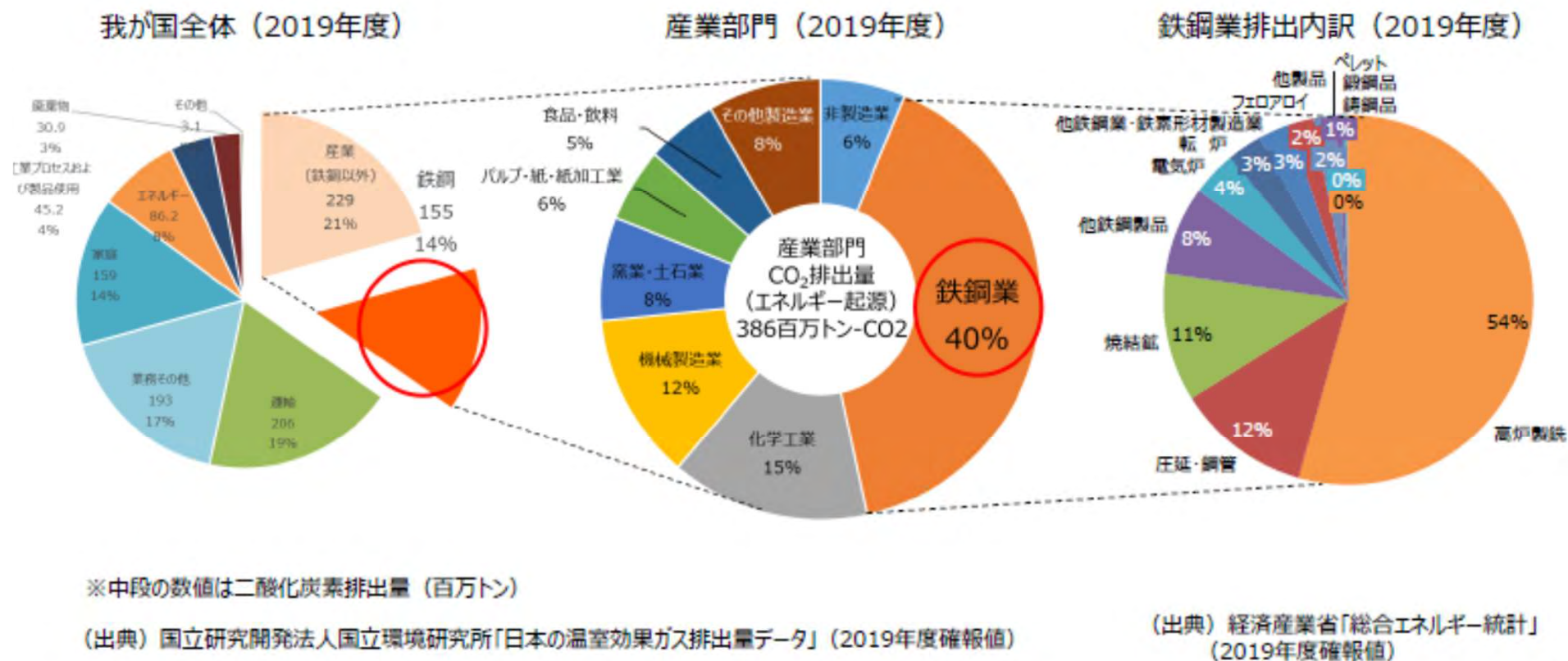
世界の粗鋼生産と日本の鉄鋼需要構造

- 2000年に8.5億トンだった世界の粗鋼生産は、中国の急成長とともに大幅に拡大し、21年には19.5億トンとなり、中国は10.3億トンと世界の粗鋼生産の半分以上を占める。
- 日本の鉄鋼需要の内、直接・間接輸出を合計した純外需は足元で約6割を占める。



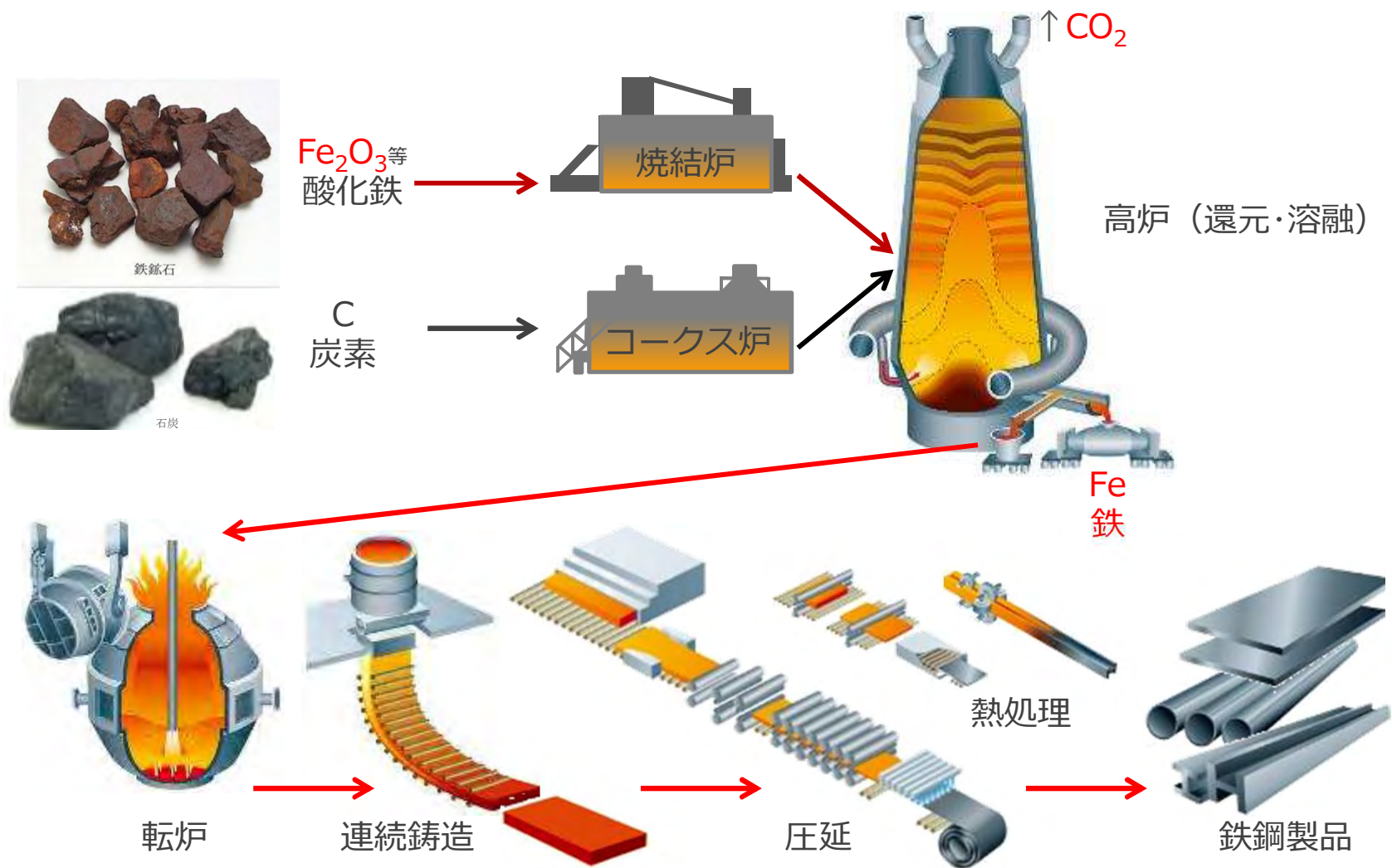
鉄鋼は日本のCO₂排出の約14%

国内CO₂排出量の内訳



出典：経済産業省「経済産業分野におけるトランジション・ファイナンス推進のためのロードマップ策定検討会」第二回（21年8月24日）資料4

鉄鋼の作り方



鉄鋼は鉄鉱石(酸化鉄)を炭素で還元して作る。

一貫製鉄所：JFEスチール西日本製鉄所（福山）

製鉄所内は一つの町

消防、港、鉄道、信号、バス、浄水場、酸素工場、
発電所、自動車整備工場、焼却場、倉庫、警備・・・

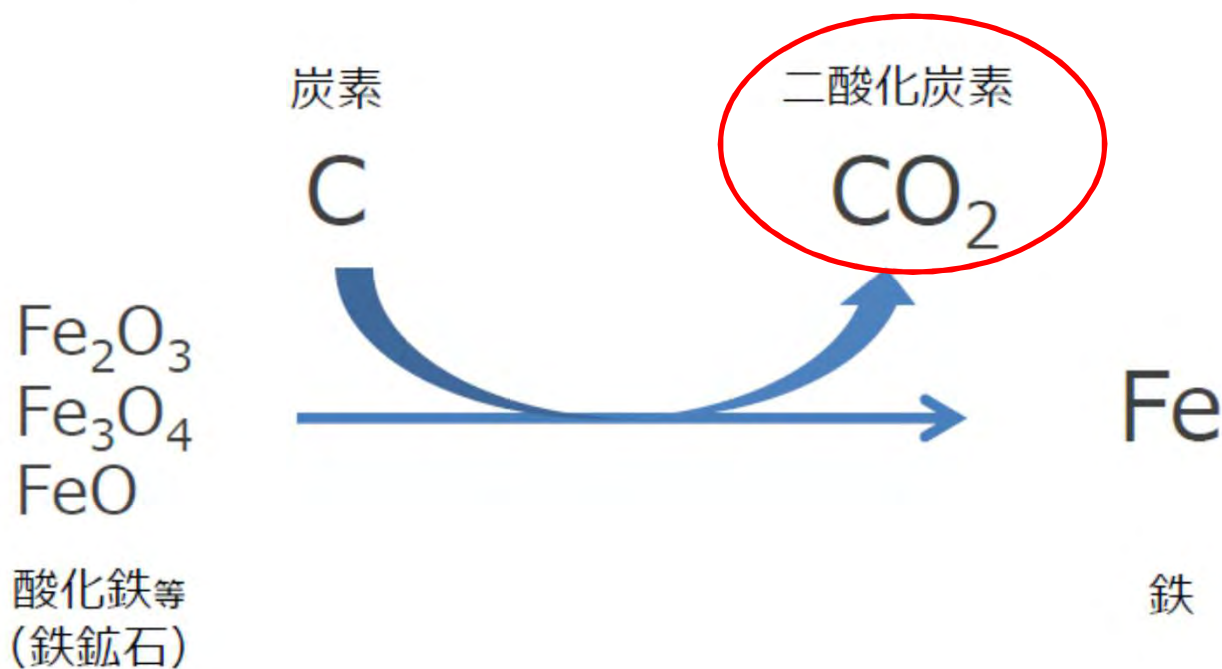


鉄鉱石の還元でCO2排出は不可避

鉄鉱石から酸素を取り除く(還元)

鉄(Fe)より酸素(O)と結びつきやすい物質(例えば炭素(C))と反応させ、鉄鉱石(鉄酸化物 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeO + 非鉄成分)から酸素を取る(還元)。

鉄鉱石は還元されて鉄(Fe)に、炭素は酸素と結びついて二酸化炭素(CO_2)に変わる。



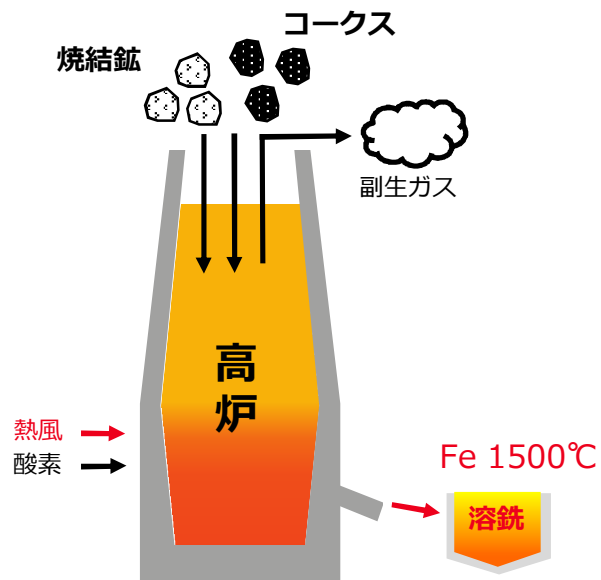
主な現行の製鉄法

原料： 石炭・鉄鉱石

スクラップ・還元鉄

天然ガス・鉄鉱石

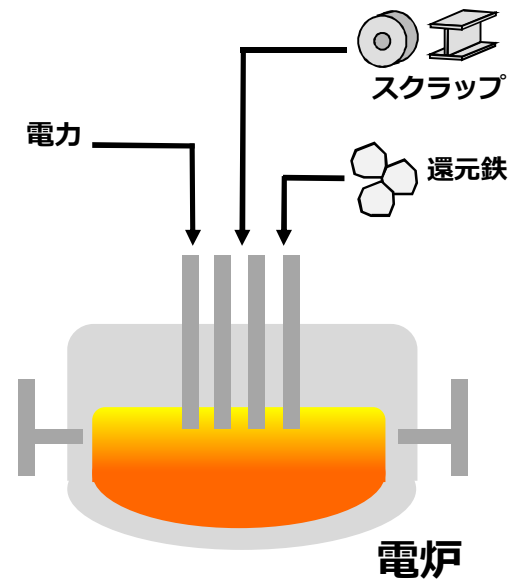
高炉法



CO₂原単位:

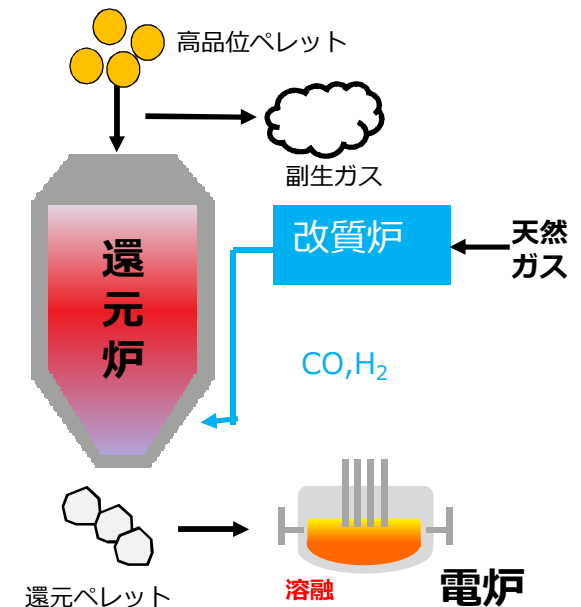
2.0 t-CO₂/ t-粗鋼

電気炉法



0.5 t-CO₂/ t-粗鋼

直接還元製鉄法



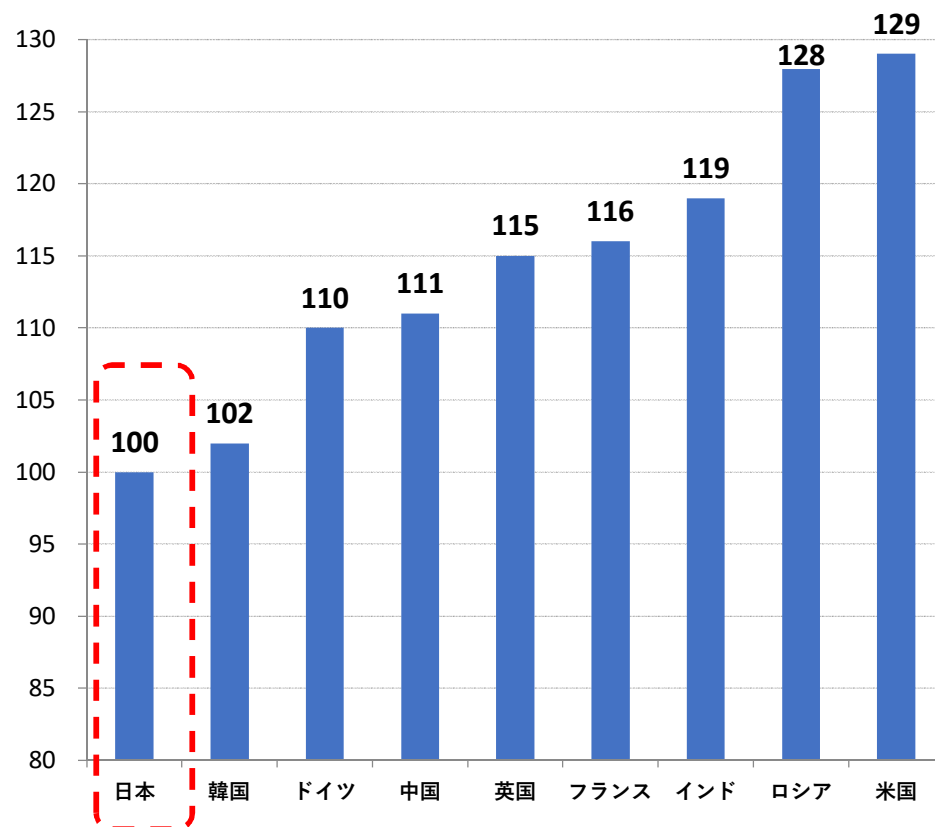
1.0～1.5 t-CO₂/ t-粗鋼

出典：JFEグループ環境経営ビジョン2050.

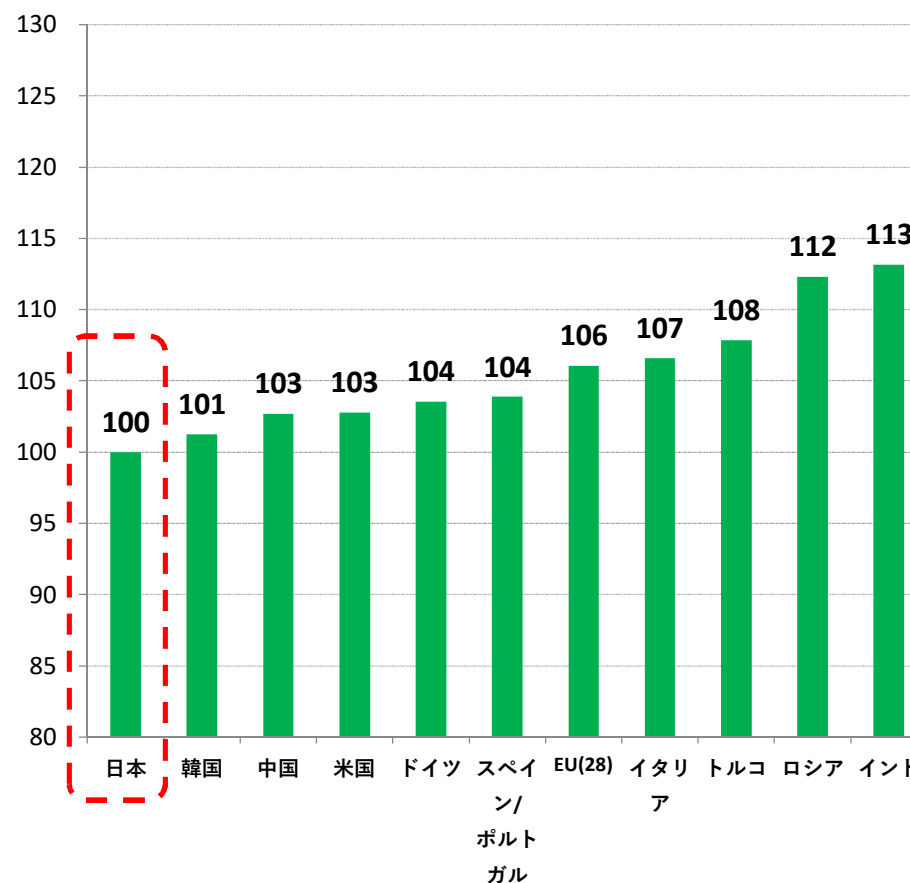
日本の鉄鋼は世界一のエネルギー効率

日本の転炉鋼・電炉鋼製造時のエネルギー効率はともに世界最高。

転炉鋼エネルギー効率(日本=100)



電炉鋼エネルギー効率(日本=100)



出所:RITE「2019年時点の鉄鋼部門のエネルギー原単位」

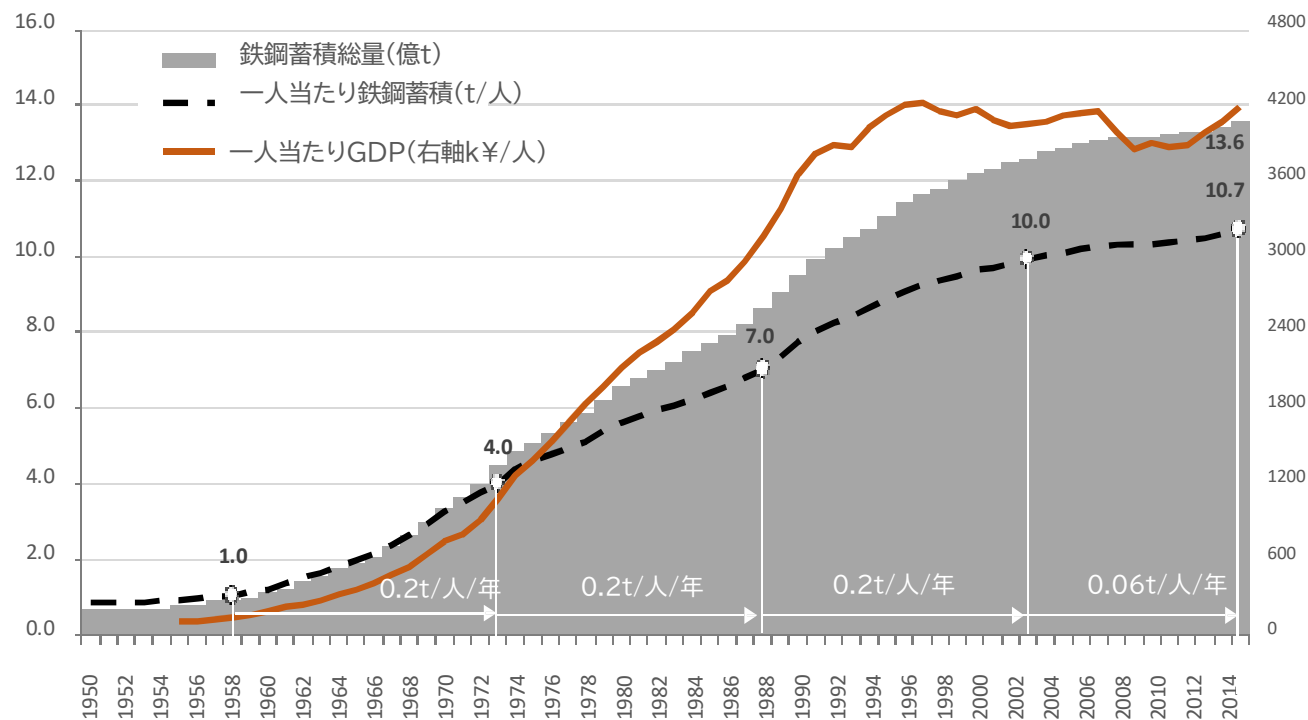


鉄鋼長期ビジョン

鉄鋼備蓄量は経済成長の指標（日本・世界）

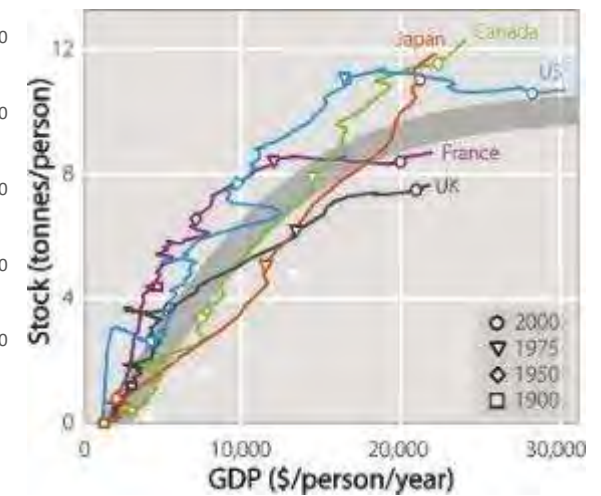
- ・ 経済成長に伴い社会の鉄鋼備蓄量は拡大。
- ・ 一人当たりGDPが350万円(約3万ドル)を超えると蓄積量10t/人で飽和

日本一人当たりGDPと鉄鋼蓄積との関係



出典:日本鉄鋼連盟 長期温暖化対策ビジョン 『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』

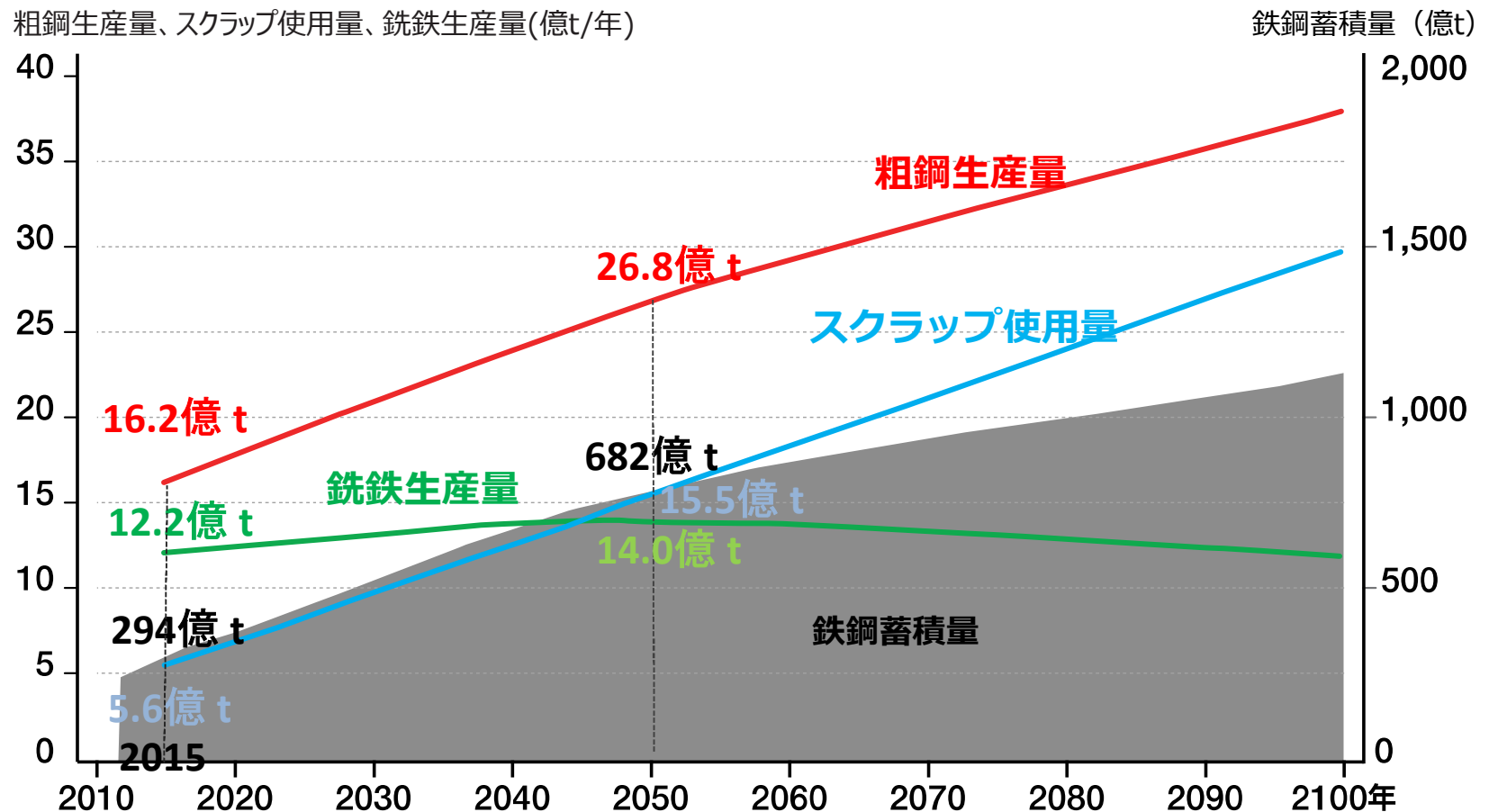
世界一人当たりGDPと鉄鋼蓄積との関係



出典:Muller, et.al, "Patterns of Iron Use in Societal Evolution", Environ. Sci. Technol. 2011, 45

世界の鉄鋼備蓄量想定と必要粗鋼生産量

- 将来にわたって、鋼材需要量は増大していく
- 老廃スクラップも増加するが鋼材需要を満たすことはできない
- 高級鋼を供給するためにも、一定量の鉄鉱石還元（銑鉄生産）は不可欠



出典：日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』説明資料（2018年11月）より

鉄鋼カーボンニュートラル化への困難な道筋

手段

課題

1. 炭素による鉄鉱石還元（現状プロセス）



発生したCO₂への対策

- | | |
|---|-----------|
| (1) 排出CO ₂ を分離回収して地中貯留・化学品変換(CCUS) | …貯留地・水素確保 |
| (2) バイオマス利用(CO ₂ 吸収した木材等の使用でネットゼロ) | …植林、量確保 |
| (3) 廃プラスチック利用 | …不純物、量確保 |
| (4) 天然ガス利用（直接還元、DRI） | …生産性、加熱溶融 |

2. 水素による鉄鉱石還元



3. スクラップ（還元済の鉄）の利用

…不純物回避、加熱溶融

鉄鋼の低炭素化は容易ではない。



ゼロカーボンスチールへの道

2050年カーボンニュートラルに関する日本鉄鋼業の基本方針

2021年2月15日公表

- ①我が国の2050年カーボンニュートラルという野心的な方針に賛同し、これに貢献すべく、日本鉄鋼業としてもゼロカーボン・スチールの実現に向けて、果敢に挑戦する。鉄鋼業としては、①技術、商品で貢献するとともに、②鉄鋼業自らの生産プロセスにおけるCO₂排出削減に取り組んでいく（ゼロカーボン・スチール）。
- ②ゼロカーボン・スチールの実現は、一直線で実用化に至ることが見通せない極めてハードルの高い挑戦であることから、現在鋭意推進中の「COURSE50やフェロコックス等を利用した高炉のCO₂抜本的削減+CCUS」、更には「水素還元製鉄」といった超革新的技術開発への挑戦に加え、スクラップ利用拡大や中低温等未利用廃熱、バイオマス活用などあらゆる手段を組み合わせ、複線的に推進する。
- ③我々が挑戦する超革新的技術開発
 - 製鉄プロセスの脱炭素化、ゼロカーボン・スチール実現には、水素還元比率を高めた高炉法（炭素による還元）の下でCCUS等の高度な技術開発にもチャレンジし更に多額のコストをかけて不可避免的に発生するCO₂の処理を行うか、CO₂を発生しない水素還元製鉄を行う以外の解決策はない。
 - 特に水素還元製鉄は、有史以来数千年の歳月をかけて人類が辿り着いた高炉法とは全く異なる製鉄プロセスであり、まだ姿形すらない人類に立ちはだかる高いハードルである。各国も開発の途についたばかりの極めて野心度の高い挑戦となる。
 - また、実装段階では現行プロセスの入れ替えに伴う多大な設備投資による資本コストや、オペレーションコストが発生するが、これらの追加コストは専ら脱炭素のためだけのコストで、素材性能の向上にも生産性の向上にも寄与しない。

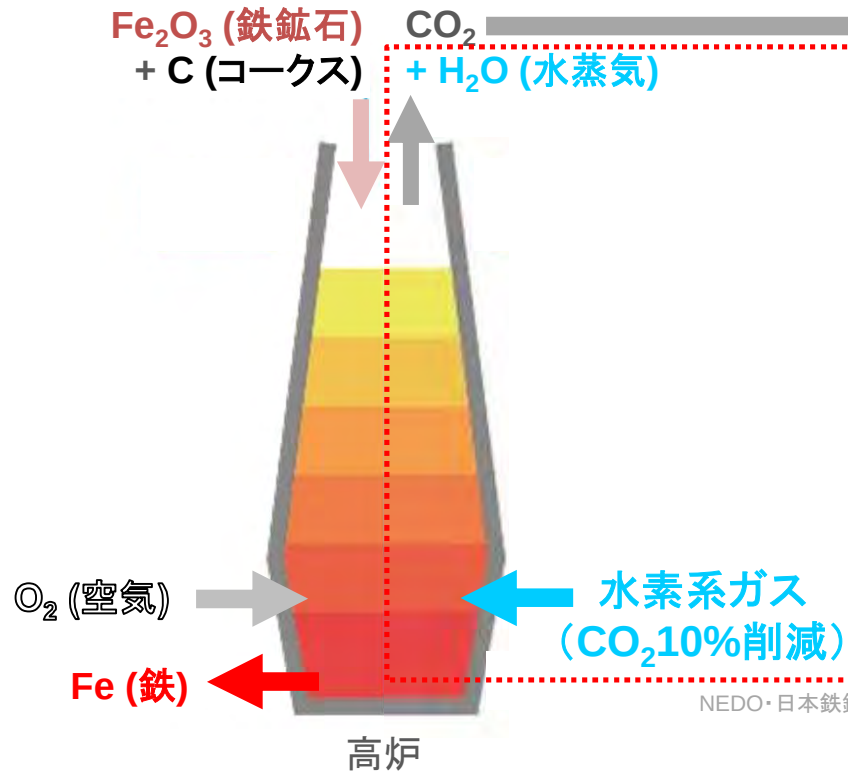
COURSE50 : 水素高炉 (NEDO, 日本鉄鋼連盟)

一貫製鉄所の既存インフラを最大限活用することを前提に、

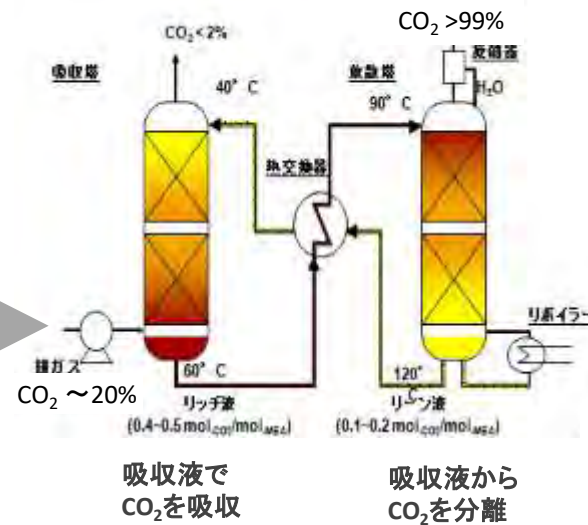
- ・鉄鉱石還元時の炭素削減、水素増加（水素を多く含むコークス炉ガスを活用）
- ・高炉排ガス中の CO_2 を分離・回収（製鉄所内未利用排熱を活用）

これらにより、製鉄所からの CO_2 排出を30%削減

COURSE 50



CCSで CO_2 除去 (CO_2 20%削減)



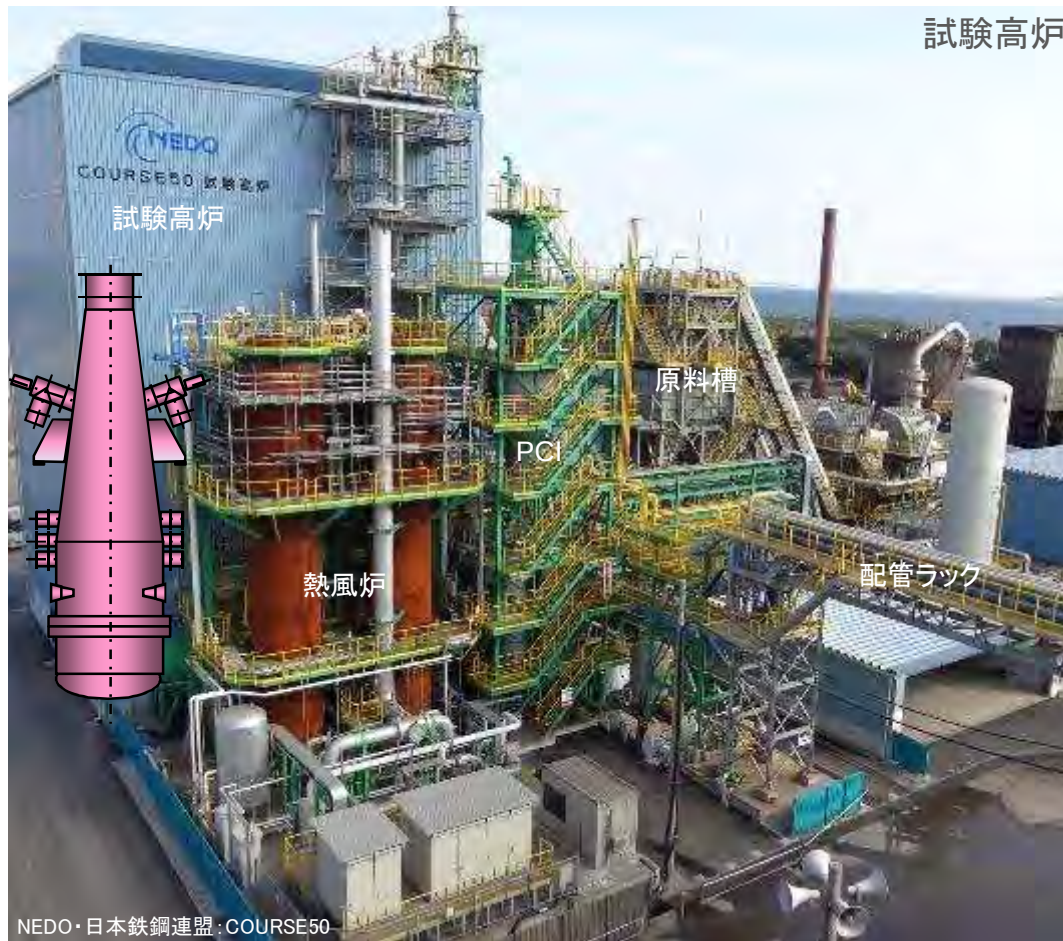
NEDO・日本鉄鋼連盟: COURSE50, http://www.jisf.or.jp/course50/index_en.html

貯留

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務「環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発(フェーズⅡ-STEP1)」(日本鉄鋼連盟COURSE50)の結果得られたものである。



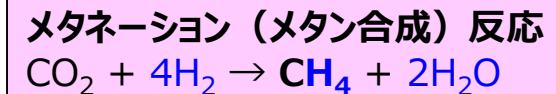
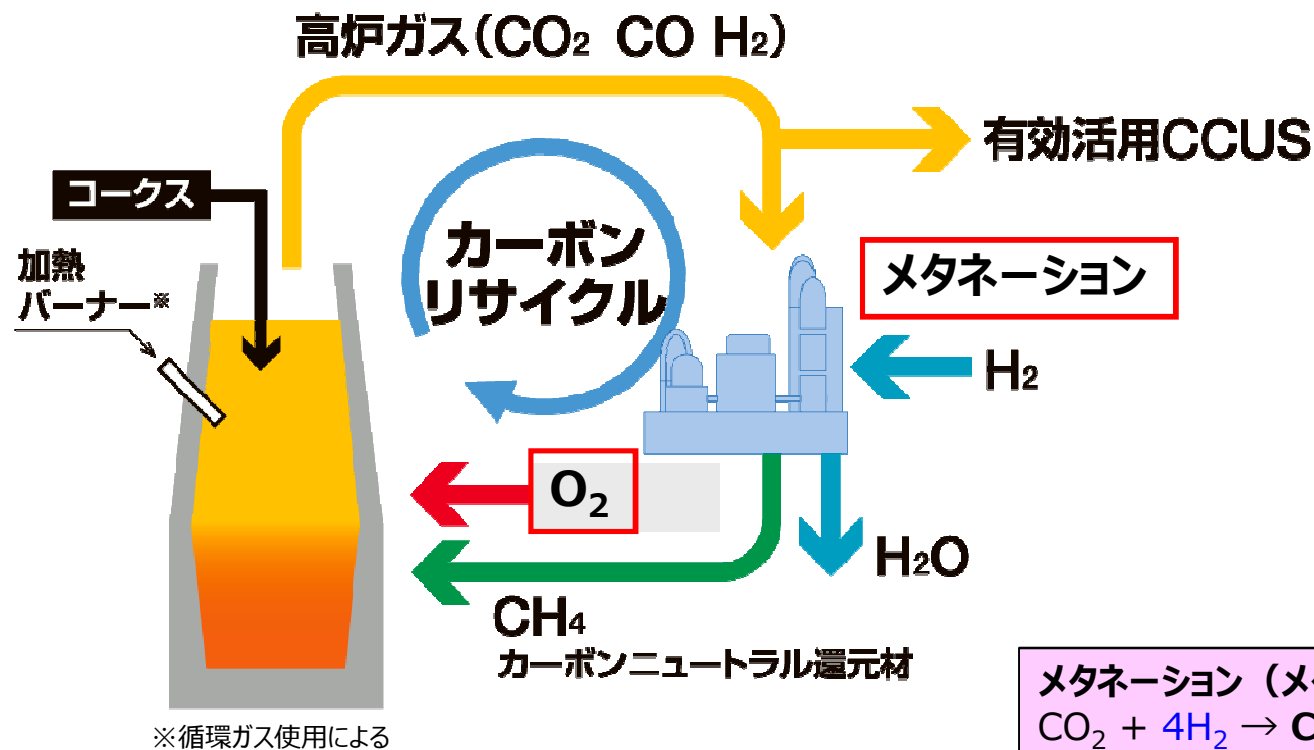
COURSE50の試験プラント



本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「環境調和型プロセス技術の開発/水素還元等プロセス技術の開発（フェーズⅡ－STEP1）」（日本鉄鋼連盟COURSE50）の結果得られたものである。

高炉+CCUS：カーボンリサイクル高炉

- 高炉から発生するCO₂をメタンに変換し、還元材として繰り返し利用
- 還元材の一部をコークスからカーボンニュートラルメタンに変換しCO₂排出量削減

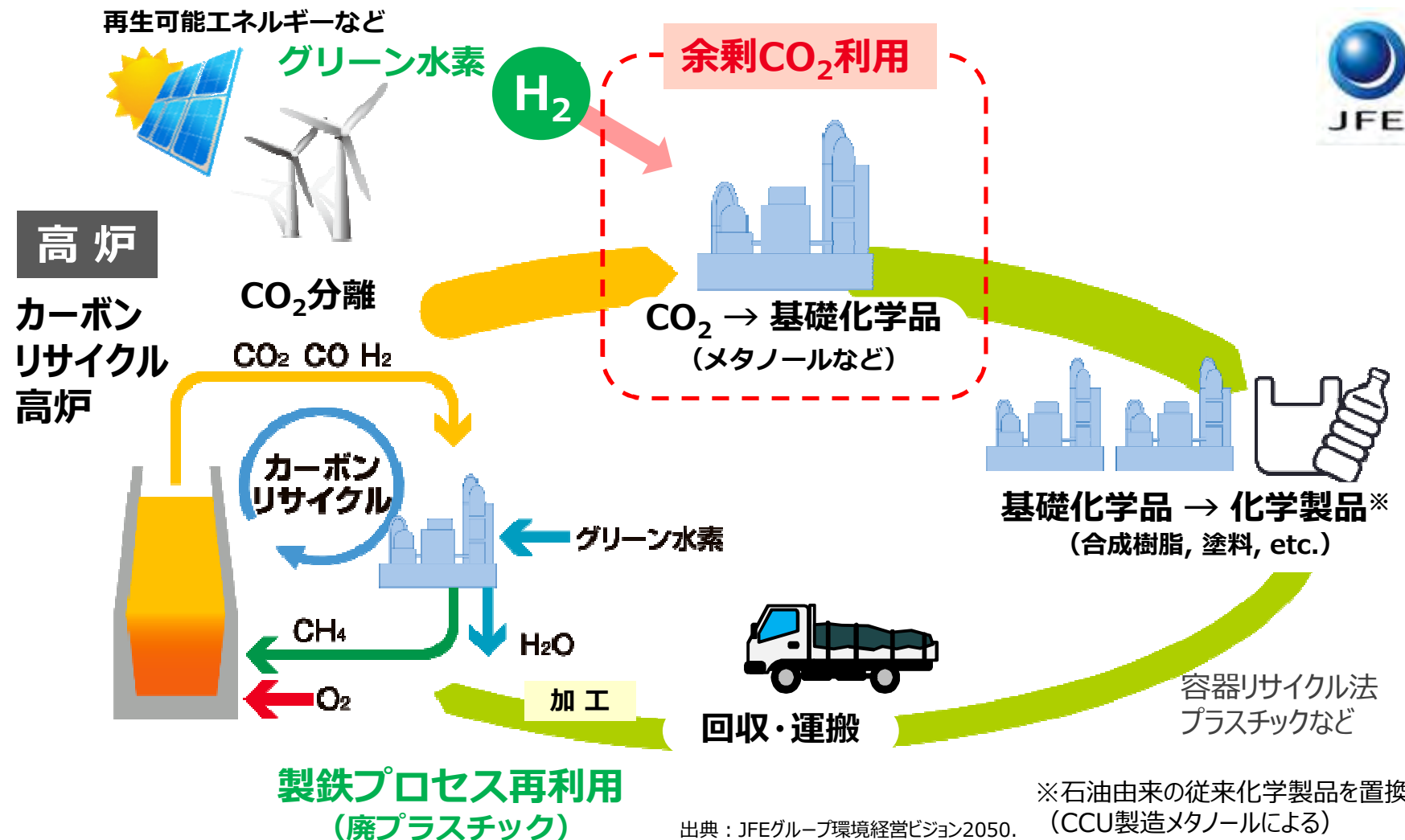


CO₂削減目標：高炉単体30%、CCUSを活用してカーボンニュートラルを目指す

出典：JFEグループ環境経営ビジョン2050.

カーボンリサイクル高炉によるゼロカーボン

- CO₂削減を目的として高炉でのカーボンリサイクル最大化を推進
- 余剰CO₂についても基礎化学品(メタノール他)製造によりCO₂排出削減



直接還元法における100%水素利用

100%水素直接還元プロセス

6

還元材にメタン(天然ガス)ではなく水素を100%使用する
直接還元プロセスの技術開発にチャレンジ

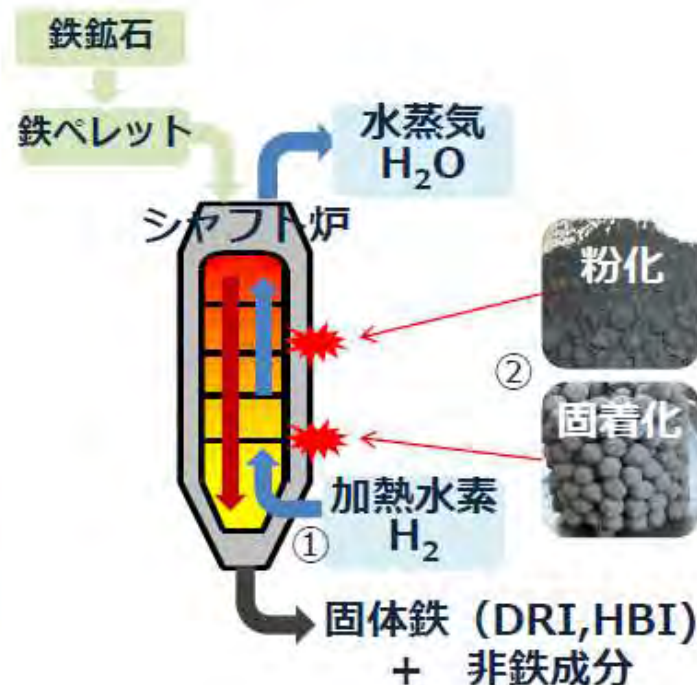
課題

既存の直接還元法の課題に加え

- ① 水素還元は吸熱反応
⇒水素の加熱が必要
- ② 温度低下時の原料の粉化・生成物の固着化が起こりやすい
⇒粉化、固着しにくい鉄鉱石(流通量の約1割)のみ使用可能であり、原料が限定的。

Challenge

高温の可燃性気体を大量に炉内に投入する技術開発と原料ソースを拡大する
操業技術開発にチャレンジ



2022年2月21日 製造産業分科会 説明資料 別紙
© 2022 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

出典：日本製鉄(株)作成資料



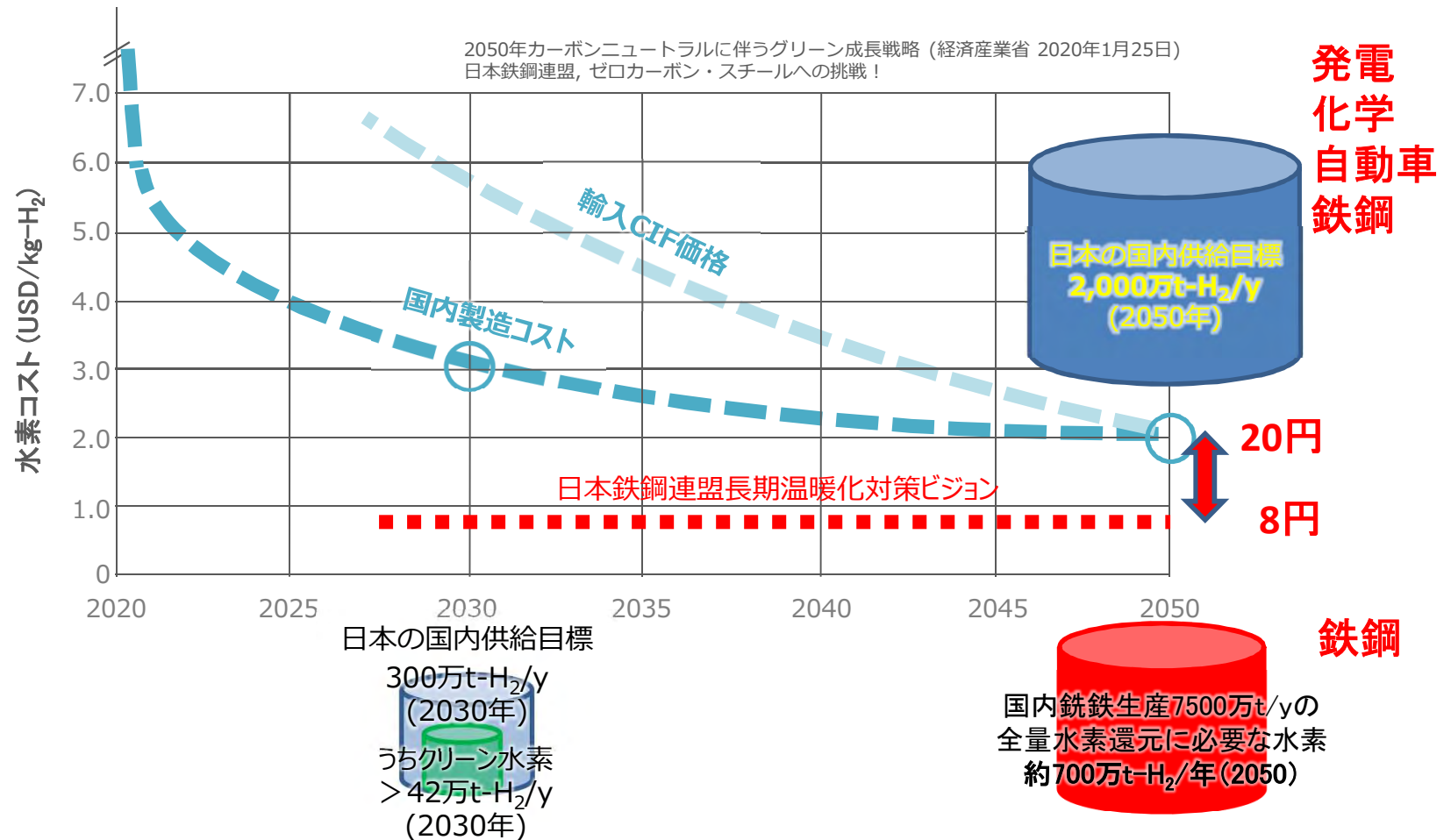
日本鉄鋼連盟の低CO₂化シナリオ



複線的アプローチ: 捨てられる選択肢はない

現状の水素戦略では量・価格とも不十分

： 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2020)における水素価格と供給量目標



ゼロカーボンスチール実現の条件

カーボンニュートラル製鉄実現のためのコスト影響

◆巨額な研究開発費

→グリーンイノベーション基金などの政府の研究開発支援金の最大活用

◆巨額な実機化投資

→CN実現のための製鉄所総設備投資には研究開発に比べてさらに多額の費用が必要

◆安価で大量なグリーン水素・電力の安定供給・インフラ整備 (産業用電力価格の国際競争力の確保)

◆安価な水素が供給された場合においても製造コスト※は大幅に上昇

※水素20円/Nm³前提でコスト倍増

大幅なコストアップは避けられず、個社努力には限界
コスト上昇を社会全体で担うための仕組みづくりなど、
政府支援と社会との連携が必須

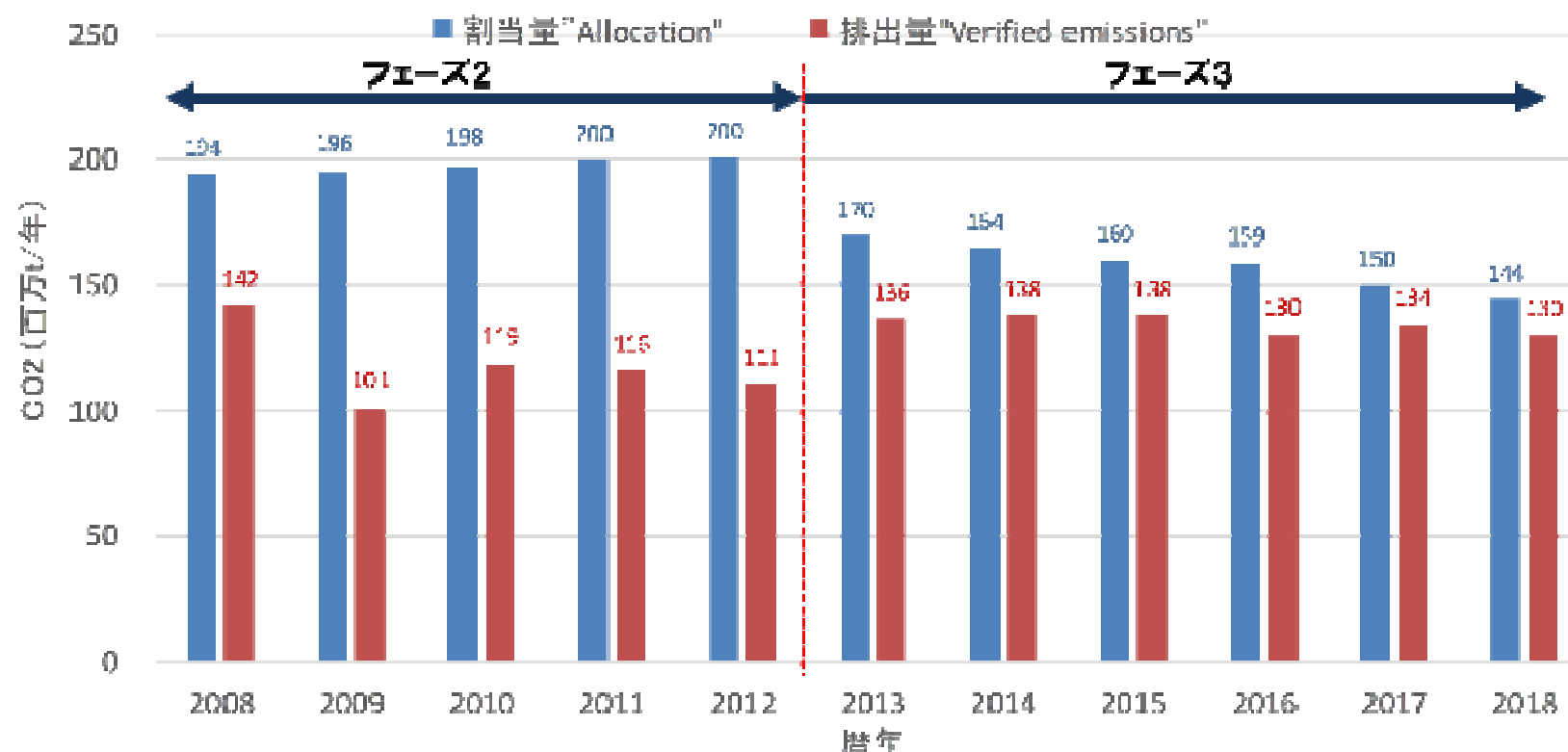
出典：JFEグループ環境経営ビジョン2050.

国際競争力に向けた課題

新聞報道と現実のギャップ：EU鉄鋼のCP＝現状は0

無償割当量と排出量実績(鉄鋼全体)

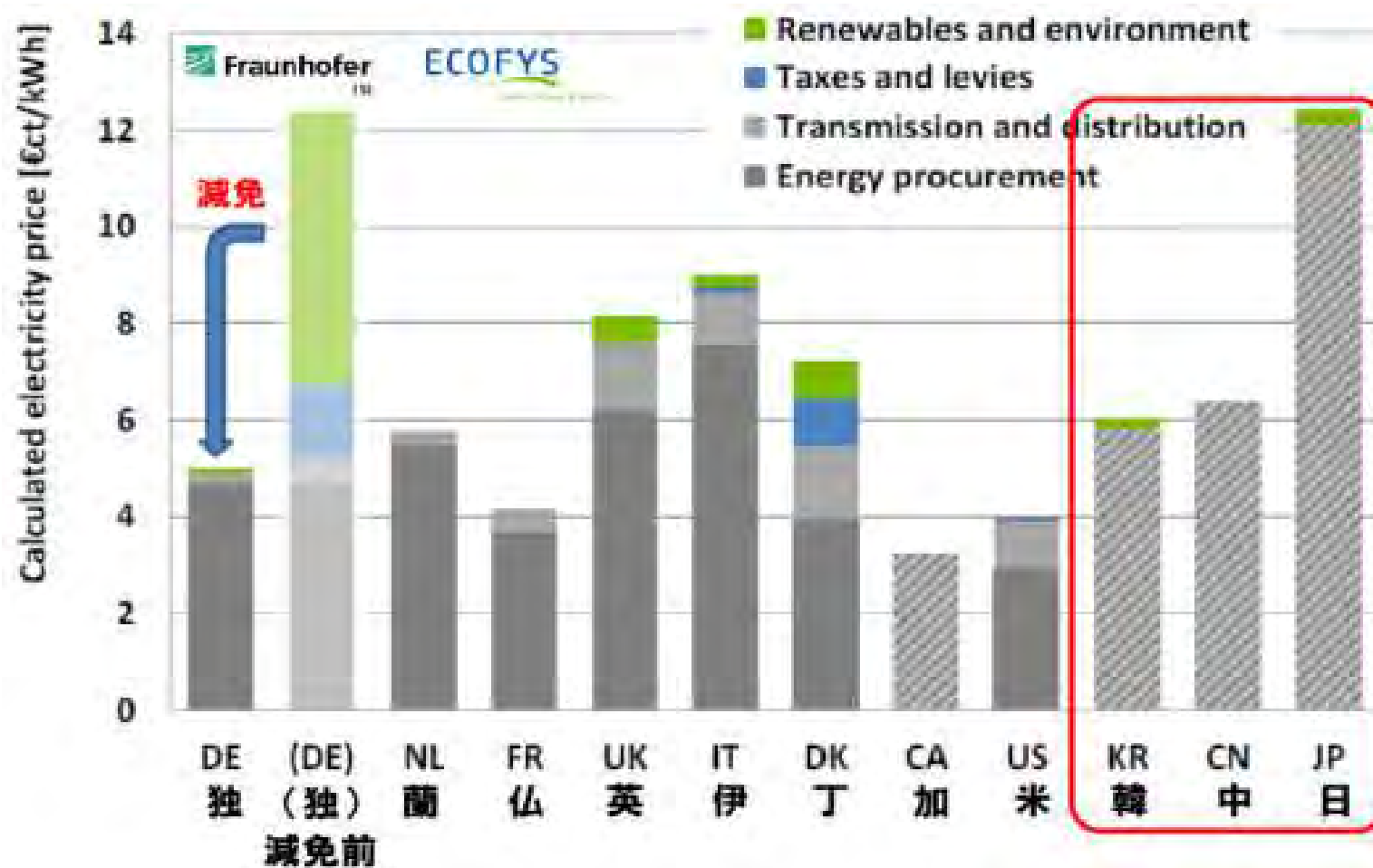
- ✓ 欧州の鉄鋼業全体での排出規模は約1.5億トン/年レベル
- ✓ 全体として過剰割り当ての状況が継続
- ✓ 余剰分は電力等不足するセクターにオークションを通じて売却されたものと推定される



データ出典：(EU) Emissions Trading System (ETS) data viewer (European Environment Agency) from EU Transaction Log (EUTL)

日本の産業用電力価格は高い（2015年 欧州シンクタンク調べ）

- 欧州で最安値は**原発比率の高い仏** → **独は大幅減免措置**で仏と平準化
- 日本のアジア太平洋の貿易競合国＝**米中韓は日本の半額以下**
- その後日本のFIT賦課金（**緑**）は0.5～3€ctに・・・



海外におけるカーボンニュートラルに向けた政策制度

1. EU

EUにおける脱炭素化支援政策の特徴

① 総合的な政策パッケージ

グリーンディール政策として総額約70兆円の財源を確保し、研究開発から社会実装までの各ステージを広くカバー

② 個別重点支援

昨年、スペイン、カナダ、ドイツ各国政府は、アルセロールミタル社の脱炭素に向けた商用化段階の設備投資に対し、最大50%の公的支援を行うことを相次いで公表

2. 中国

- 足元は、米国との覇権争いの中で、産業競争力強化を謳い、各種支援策を実行
- 100%国営の世界最大の鉄鋼メーカー(宝武鋼鉄)の主導で脱炭素化のための研究開発がスタート。

(参考) EUにおけるゼロカーボン・スチールへの主要政策支援例

政策	補助額 概算	対象STAGE					
		研究	開発	パイロット	実証 実験	商用化 (初期)	商用化 (グローバル)
① 返済義務なし							
ホライゾンヨーロッパ (Horizon Europe)	・7年間で約12兆8千億円						
クリーン・スチール パートナーシップ(CSP)	・7年間で約880億円の支援 ・鉄鋼部門の脱炭素研究開発支援						
EUイノベーション・ ファンド	・10年間で約2兆5千億円						
差金決済取引 (CCfD)	・商用化ステージの企業コストを プロジェクト全期間で契約(例:20年)						
② 返済義務あり(各種ファンド)							
欧州イノベーション・ カウンスル(EIC)	・パイロットから商用化段階に対し、 10年間で約1兆3千億円を支援						
CEF (Connecting Europe Facility)	・7年間で約3兆8千億円の商用化 段階支援を実施						
インベストEU	・7年間で約3兆3千億円の支援						

2022年2月21日 製造産業分科会 ご説明資料 別紙
© 2022 NIPPON STEEL CORPORATION. All Rights Reserved.

出典：日本製鉄(株)作成資料

各国における鉄鋼業に対する支援策の例

国名	企業名	プロジェクト名	総投資額	政府による支援額
カナダ	ドファスコ (アルセロール・ミタルの子会社)	高炉-転炉法からDRI-電炉 法への転換	18億カナダドル	カナダ政府: 4億カナダドル オンタリオ州: 5億カナダドル
ドイツ	ティッセンクルップ等	鉄鋼生産での水素活用プロ ジェクト(H2Stahl)	不明	ドイツ政府: 0.37億ユーロ
ドイツ	アルセロール・ミタル	水素利用のDRI製造プラント	1.1億ユーロ	ドイツ政府: 0.55億ユーロ
スペイン	アルセロール・ミタル	水素利用のDRI製造プラント、 電炉	10億ユーロ	スペイン政府: 最低5億ユーロ
中国	宝武鋼鉄集団、National Green Development Fund(財政部、生態環境 部、上海市による共同設立基金)等	脱炭素に関する研究開発基 金	500億元	不明

出所：各社HP

日本における政策支援強化の必要性

1. 政府による、エネルギー集約型産業の支援に関する明確なコミット

- 日本においても、エネルギー集約産業の脱炭素転換、とりわけ鉄鋼業など技術的選択肢をこれから開発する産業の挑戦に対して、欧州・中国と比肩する政府による政策的支援をお願いしたい。

2. 日本型政策パッケージの必要性

- 国家政策として脱炭素化と産業政策を一体化して取り組むEUや中国を念頭に、日本版政策パッケージを一日も早く策定する必要がある。

(1) 研究開発支援の拡充（G I 基金の拡大）

- 現状のG I 基金規模はEU・中国に対して大きく劣後。まずはG I 基金の規模拡大が必須。

(2) 社会実装ステージへの政策支援

- EU同様、研究開発から設備実装までの脱炭素転換に向けた全ステージに亘る支援が必要。
- その際、脱炭素転換に伴う費用を転嫁する仕組みなど、研究開発のみならず、脱炭素転換に取り組む企業が各フェーズで直面する課題を克服するための支援策を検討いただきたい。

① 商用化設備投資(CAPEX)に対する支援

② 水素・電力や原料オペレーションコスト増に対する支援

③ CCUS実現の為にロードマップ

(3) 税制に関わる政策課題

① カーボンプライシング

- 鉄鋼のように選択肢をこれから開発する分野への先行課税は、CO2削減という目的に合致していないのみならず、我が国産業全般の産業国際競争力喪失に直結。

② 償却資産課税廃止

- カーボンニュートラルに資する設備を含む償却資産に対する固定資産税の縮減・廃止も、開発・実装に対する有力な支援の手段。

出典：日本製鉄(株)作成「2022年2月21日 製造産業分科会 ご説明資料 別紙」より抜粋

END

ありがとうございました

